

Original document

# SILICON THIN FILM FORMING METHOD BY CATALYST CVD METHOD, MANUFACTURE OF THIN FILM TRANSISTOR, AND THIN FILM TRANSISTOR

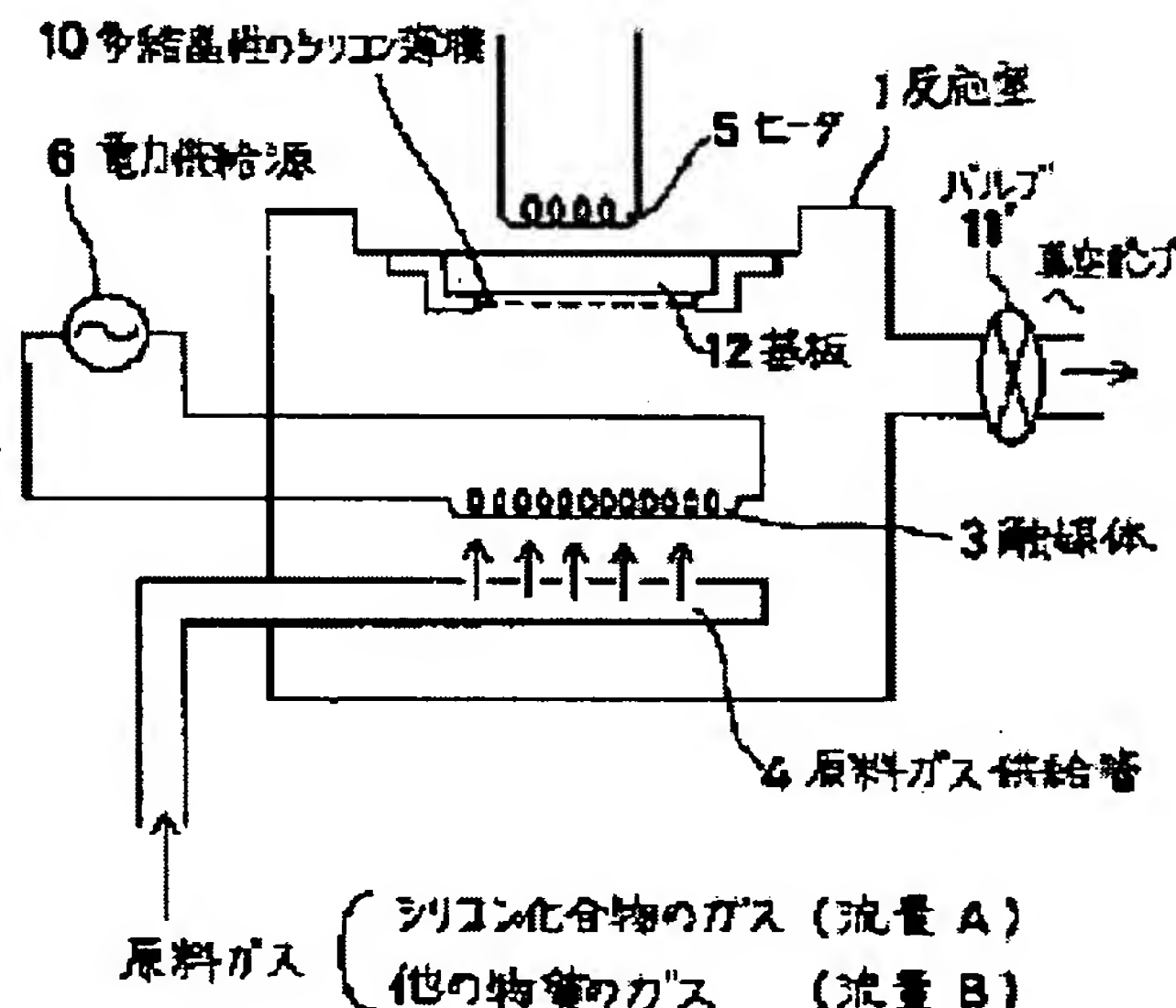
- Patent number: JP8250438  
- Publication date: 1996-09-27  
- Inventor: MATSUMURA HIDEKI; MIMURA HIROJI  
- Applicant: JAPAN RES DEV CORP  
- Classification:  
- international: **C23C16/44; C30B25/10; C30B25/14; H01L21/205; H01L21/336; H01L29/786; C23C16/44; C30B25/10; C30B25/14; H01L21/02; H01L29/66; (IPC1-7): H01L21/205; C23C16/44; C30B25/10; C30B25/14; H01L29/786**  
- european:  
Application number: JP19950055763 19950315  
Priority number(s): JP19950055763 19950315

[View INPADOC patent family](#)

[Report a data error here](#)

## Abstract of JP8250438

**PURPOSE:** To make it possible to produce a silicon thin film having a high mobility and an extremely thin film thickness at a low temperature by providing a low pressure in a reactor, increasing a proportion of other material gas to a silicon compound gas, and raising the temperature of catalyst body higher than the silicon melting temperature by increasing the electric power supplied to the catalyst. **CONSTITUTION:** A raw material gas contains a silicon compound gas, for example, silane and other material gas such as hydrogen for instance. Pressure condition for the reactor 1 is a low pressure such as 0.05 Torr., and the mixing ratio of the other material gas to the silicon compound gas is higher than the conventional ratio used. Also, the condition of electric power to be supplied to the catalyst body can be expressed by the temperature of the catalyst 3 equal to the silicon melting temperature (higher than 1,450 deg.C, or higher than 1,700 deg.C is more desired). When the conditions stated above are respectively fulfilled, a polycrystal silicon thin film with a film thickness of less than 0.1 $\mu$ m can be formed at a low temperature.



(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平8-250438

(43)公開日 平成8年(1996)9月27日

| (51)Int.Cl. <sup>6</sup>    | 識別記号 | 庁内整理番号 | F I            | 技術表示箇所  |
|-----------------------------|------|--------|----------------|---------|
| H 0 1 L 21/205              |      |        | H 0 1 L 21/205 |         |
| C 2 3 C 16/44               |      |        | C 2 3 C 16/44  | A       |
| C 3 0 B 25/10               |      |        | C 3 0 B 25/10  |         |
|                             |      | 25/14  | 25/14          |         |
| H 0 1 L 29/786              |      |        | H 0 1 L 29/78  | 3 1 1 N |
| 審査請求 未請求 請求項の数7 O L (全 7 頁) |      |        |                |         |

(21)出願番号 特願平7-55763

(22)出願日 平成7年(1995)3月15日

特許法第30条第1項適用申請有り 1994年9月19日～9月22日 社団法人応用物理学会主催の「第55回応用物理学会学術講演会」において文書をもって発表

(71)出願人 390014535

新技術事業団

埼玉県川口市本町4丁目1番8号

(72)発明者 松村 英樹

石川県能美郡辰口町大口1-1、A号棟25号

(72)発明者 三村 広二

石川県能美郡辰口町旭台18-1、北陸先端科学技術大学院大学学生宿舎 I 1-422

(74)代理人 弁理士 長谷川 文廣

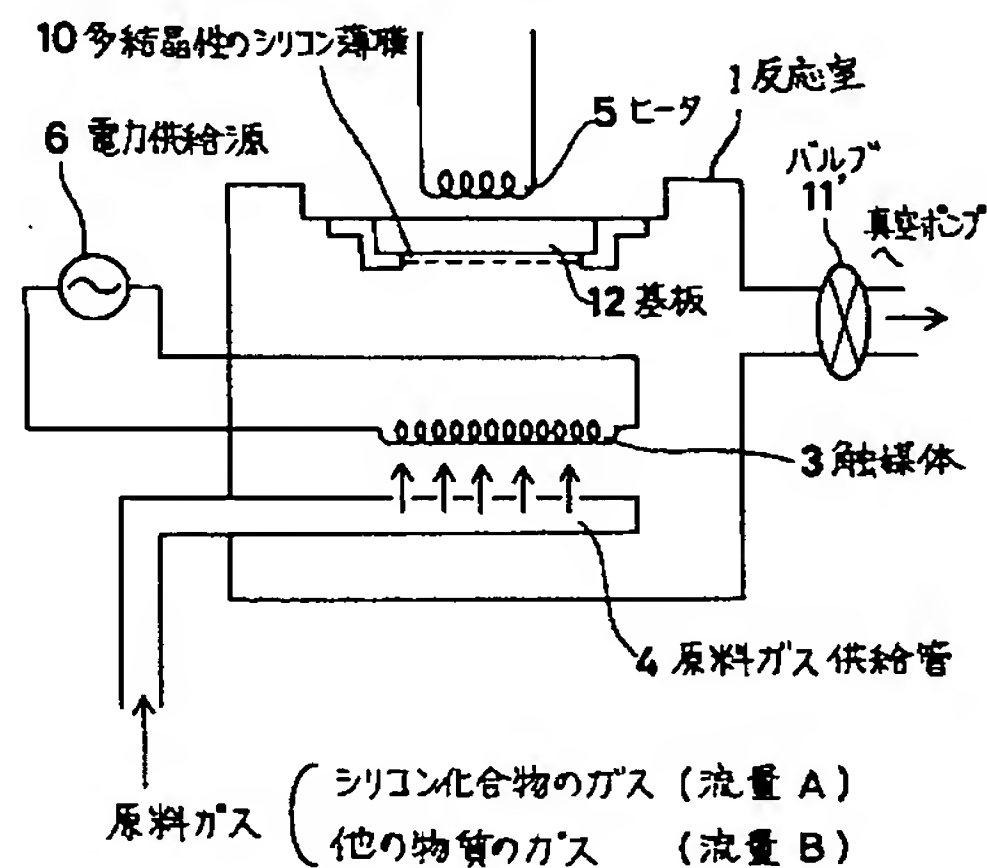
(54)【発明の名称】 触媒CVD法によるシリコン薄膜の生成方法および薄膜トランジスタの製造方法および薄膜トランジスタ

(57)【要約】

【目的】 触媒CVD法によるシリコン薄膜の生成方法およびシリコン薄膜トランジスタの製造方法および薄膜トランジスタに関し、低温で生成で0.1μm以下の薄い膜厚の高移動度の多結晶性のシリコン薄膜を低温形成することを目的とする。

【構成】 原料ガスはシリコン(Si)化合物のガスと他の物質の混合ガスであり、触媒は供給される電力により加熱されるものであり、シリコン薄膜を生成する反応室の圧力を低圧とする圧力条件、および原料ガスにおける他の物質のガスのシリコン化合物のガスに対する割合を大きくする原料ガスの混合比の条件、および該触媒に供給する電力を触媒温度がシリコン溶融温度以上に高いものとする触媒に対する供給電力の条件を、堆積種により生成されるシリコン薄膜が多結晶性の薄膜となる程度のものとし、低温度の基板にシリコン薄膜を生成する構成を持つ。

本発明の基本構成



本発明の成膜の条件

|             |        |
|-------------|--------|
| 流量 B        | -----大 |
| 流量 A        | -----大 |
| 触媒体への供給電力 P | ----大  |
| 圧力          | -----小 |

1

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 触媒体に原料ガスを吹きつけ、触媒体と原料ガスとの接触反応により原料ガスの一部もしくは全部を分解し、分解されて生成した堆積種を基板に堆積して薄膜を生成する触媒CVD法により多結晶性のシリコン薄膜を生成する方法において、原料ガスはシリコン

(S i) 化合物のガスと他の物質の混合ガスであり、触媒は供給される電力により加熱されるものであり、シリコン薄膜を生成する反応室の圧力を低圧とする圧力条件、および原料ガスにおける他の物質のガスのシリコン化合物のガスに対する割合を大きくする原料ガスの混合比の条件、および該触媒に供給する電力を触媒体温度がシリコン熔融温度以上に高いものとする触媒に対する供給電力の条件を、堆積種により生成されるシリコン薄膜が多結晶性の薄膜となる程度のものとし、低温度の基板にシリコン薄膜を生成することを特徴とする触媒CVD法によりシリコン薄膜の生成方法。

【請求項2】 反応室の該圧力条件がほぼ0.05 Torr以下であり、該混合ガスの条件がシリコンを含む化合物のガスの流量をA、他のガスの流量をBとした時、 $B/A$ がほぼ10より大きく、該供給電力の条件が触媒体の占める部分の単位面積当たりほぼ $10\text{ W/cm}^2$ 以上であることを特徴とする請求項1に記載の触媒CVD法によるシリコン薄膜の生成方法。

【請求項3】 シリコン化合物のガスがシラン系のガスであり、他の物質のガスが水素ガスであることを特徴とする請求項1もしくは2に記載の触媒CVD法によるシリコン薄膜の生成方法。

【請求項4】 シリコン化合物のガスがフッ化シリコン系のガスであり、他の物質のガスが水素ガスであることを特徴とする請求項1もしくは2に記載の触媒CVD法によるシリコン薄膜の生成方法。

【請求項5】 基板温度が $500^\circ\text{C}$ 以下であることを特徴とする請求項1、2、3もしくは4に記載の触媒CVD法によるシリコン薄膜の生成方法。

【請求項6】 請求項1、2、3、4もしくは5に記載の触媒CVD法により生成した多結晶性のシリコン薄膜にトランジスタを形成することを特徴とする薄膜トランジスタの製造方法。

【請求項7】 請求項1、2、3、4もしくは5に記載のシリコン薄膜の生成方法により生成した多結晶性のシリコン薄膜に形成したトランジスタであって、移動度が $50\text{ Cm}^2/\text{V}\cdot\text{S}$ 以上であることを特徴とする薄膜トランジスタ。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は触媒CVD法によるシリコン薄膜の生成方法およびシリコン薄膜トランジスタの製造方法および薄膜トランジスタに関する。

【0002】 シリコン薄膜にトランジスタを形成した薄

2

膜トランジスタが液晶ディスプレイ、集積回路装置等の半導体エレクトロニクス分野において幅広く使用されている。

【0003】 液晶ディスプレイの制御トランジスタは画素一つ一つに付けられるスイッチングトランジスタと、画面全体を制御する高移動度のトランジスタの2種類のトランジスタが必要である。

【0004】 従来このような制御トランジスタは、画素スイッチ用には大画面にわたって低温で作ることのできるアモルファスシリコンを用いた薄膜トランジスタを使用し、画面制御用には結晶シリコンで作られたトランジスタ集積回路を使用して両者を一体にすることにより制御用トランジスタとする方法が用いられていた。そのため、配線が複雑になり、製造コストを押し上げる原因になっていた。そこで、この画面制御用の制御トランジスタを、ガラス基板に形成したシリコン薄膜に画素スイッチ用薄膜トランジスタと共に形成することが提案され、そのための種々の方法が開発されてきた。

## 【0005】

【従来の技術】 その一つはエキシマレーザーをアモルファスシリコン膜に照射することによりアモルファスシリコン膜を熔融し、再結晶させることにより多結晶膜として高移動度の薄膜トランジスタを生成する方法である。この方法は $600^\circ\text{C}$ 以下の低温で高移動度の薄膜トランジスタを形成することができるが、レーザーを使用するために大面積に薄膜を形成することが困難である。また一方、従来からの単純な熱CVD法や、シリコン薄膜を加熱処理とする方法では、 $600^\circ\text{C}$ 以上の温度にしないと移動度が $10\text{ Cm}^2/\text{V}\cdot\text{S}$ を超えるポリシリコンが作れなかった。しかし、 $600^\circ\text{C}$ 程度の温度では使用できるガラス基板が制約され、より低温の熱処理で薄膜トランジスタを製造する方法の開発が望まれていた。そこで、高移動度の薄膜トランジスタを大面積にわたって、安価なガラス基板を使用して、低温で製造する方法として、本発明者らは触媒CVD法によりシリコン薄膜を生成することを提案した。

【0006】 触媒CVD法は、基板近傍に置かれた加熱触媒体に原料ガスを吹きつけ、触媒体と原料ガスとの接触分解反応を用いて原料ガスの全部または一部を分解し、その分解された堆積種を基板まで郵送することにより、プラズマも光励起過程をも用いずに、基板自体の温度を低温に保ったままシリコン薄膜を生成する方法である。

【0007】 図6は従来の触媒CVD法によるシリコン薄膜の生成方法の説明図である。図6において、51は反応室である。

【0008】 52は基板であって、ガラス基板等である。53は触媒体であって、タングステン等のヒータである。54は原料ガス供給管であって、原料ガスを供給するものである。



3

【0009】原料ガスは、シラン、ジシラン等のシラン系のシリコン化合物と、水素ガス等の他の物質のガスの混合ガスである。55はヒータであって、基板52を加熱するものである。

【0010】56は電力供給源であって、触媒体53に電力を供給するものである。図6の構成において、基板52はヒータ55により500°C程度の低温で加熱されている。原料ガスが原料ガス供給管54に供給される。原料ガスは触媒体53と接触し、原料ガスのうちのシリコン化合物の全部もしくは一部が触媒により分解されてシリコン(Si)の種を生成する。分解されたSiの種および分解されなかったシリコン化合物および他の物質のガス(水素ガス等)が基板52に移動する。そして、Siの種は基板52の表面に堆積し、シリコン薄膜を生成する。

【0011】従来の触媒CVD法では、触媒体53に供給する電力は、本発明と比較して400~500W(触媒体の占める面積の単位面積当たり10W/cm<sup>2</sup>以下)程度の小電力のものであった。また、他の物質のガスのシリコン化合物に対する割合はほぼ同程度であった(シリコン化合物の流量比をA、他の物質のガスの流量比をBとしたとき、 $A/B \approx 1$ )。

【0012】触媒に対する供給電力が500W程度で、ガス流量比 $A/B \approx 1$ では、生成されるシリコン薄膜はアモルファスになる。また、圧力を0.5 Torr以下に下げ、シリコン薄膜を約1μm以上の厚い膜まで成長させると多結晶膜は得られるが、それでも0.3μm以下の薄い膜では、X線回折で観察する限りアモルファスになる。

【0013】

【発明が解決しようとする課題】シリコン薄膜によりTFT等の薄膜トランジスタを作成する場合には、オフの時の抵抗をできるだけ大きくする必要があることからシリコン薄膜の膜厚を0.1μm以下の薄い膜にする必要があり、しかも高移動度でなければならない。

【0014】しかし、上記のように従来の触媒CVD法で生成したシリコン薄膜は、膜厚が0.1μm以下ではアモルファスのシリコン薄膜しか得られず、移動度も1cm<sup>2</sup>/V·S程度の小さいものであった。

【0015】本発明は触媒CVD法により低温で生成でき、しかも0.1μm以下の薄い膜厚で高移動度のシリコン薄膜を生成できるシリコン薄膜の生成方法およびその薄膜を用いた高移動度のシリコン薄膜トランジスタの製造方法を提供することを目的とする。

【0016】

【課題を解決するための手段】本発明は、触媒体に原料ガスを吹きつけ、触媒体と原料ガスとの接触反応により原料ガスの一部もしくは全部を分解し、分解されて生成した堆積種を基板に堆積して薄膜を生成する触媒CVD法により多結晶性のシリコン薄膜を生成する方法におい

4

て、原料ガスはシリコン(Si)化合物のガスと他の物質の混合ガスであり、触媒は供給される電力により加熱されるものであり、シリコン薄膜を生成する反応室の圧力を低圧とする圧力条件、および原料ガスにおける他の物質のガスのシリコン化合物のガスに対する割合を大きくする原料ガスの混合比の条件、および該触媒に供給する電力を触媒体温度がシリコン熔融温度以上に高いものとする触媒に対する供給電力の条件を、堆積種により生成されるシリコン薄膜が多結晶性の薄膜となる程度のもとし、低温の基板に多結晶性のシリコン薄膜を生成するようにした。

【0017】図1は本発明の基本構成を示す。図1において、1は反応室である。

【0018】2は基板であって、シリコン薄膜を堆積するものである。3は触媒体であって、タングステン等の触媒である(原料ガスを分解してSiの種を生成できるものであれば他の材料でも良い)。

【0019】4は原料ガス供給管であって、原料ガスを反応室1に供給するものである。5はヒータであって、基板2を加熱するものである。6は電力供給源であって、触媒体3に電力を供給するものである。

【0020】図1において、原料ガスはシリコン化合物のガス(例えばシラン)および他の物質のガス(例えば水素)を含むものである。反応室の圧力条件は従来実施されていた圧力(0.1 Torr以上)より低圧であって、例えば、0.05 Torrである。そして、他の物質のガスのシリコン化合物のガスに対する混合比の条件は、従来行われていたより大きいものである。例えば、従来の方法に比較して大きいものであって、シリコン化合物のガスの流量比をA s c c m、他のガスの流量比をB s c c mとした時、 $B/A > 10$ 程度である。また、触媒体に供給する電力の条件は、触媒体3の温度がシリコン熔融温度(1450°C以上、望ましくは1700°C以上)になるもので、かつ、触媒体の構造を変えたことにより、従来より2倍以上の値に設定されている。例えば、触媒体の表面積によっても異なるが、ほぼ1000W以上である(触媒体の占める面積によって異なる)。このような各条件が満たされて基板2に厚さ0.1μm以下の薄い膜厚で多結晶性のシリコン薄膜を低温生成することが可能になる。

【0021】なお、本発明において説明する多結晶性のシリコン薄膜は粒径が100Å程度の微結晶と称されているものから粒径が200Å以上の多結晶を含むものである。

【0022】

【作用】図1の本発明の基本構成によるシリコン薄膜の生成方法について説明する。基板2はヒータ5により低温に加熱されている。反応室は真空ポンプ(図示せず)により低圧(例えば、約0.05 Torr以下)にする。

5

【0023】シリコン化合物のガスと他の物質のガスの混合ガスが原料ガス供給管4により供給され、そして原料ガスは触媒体3の表面に接触する。電力供給源に供給される電力は大きいので、触媒体3の温度はシリコン溶融温度以上に加熱されている。そのため、分解されたシリコンの種は高温で基板2に輸送される。また、触媒体3にシリコンが付着して残ることがない。また、分解されなかったガスおよび他のガスは、シリコンの種に比較して低温で基板2の表面に吹きつけられる。その結果、基板2の表面に高移動度の多結晶性のシリコン薄膜が生成される。上記のような方法により基板温度が300°C程度の低温でガラス等の基板に膜厚が0.1μm以下の多結晶性のシリコン薄膜を生成することができる。

【0024】

【実施例】図2は本発明の触媒CVD装置の実施例である。図2において、11は反応室であって、ステンレスの容器である。

【0025】12はガラス基板である。13は触媒体であって、タングステンである。触媒体13と原料ガス供給管14の吹き出し口との距離Lは約4cmである。

【0026】14は原料ガス供給管である。15はヒータであって、ガラス基板12を加熱するものである。21は基板ホルダーであって、ガラス基板12を保持するものである。

【0027】22は熱電対であって、ガラス基板12の温度を測定するものである。23は電子式赤外線温度計であって、触媒体13の温度を測定するものである。

【0028】23'は石英窓である。24はメインバルブである。25は電流計である。

【0029】25'は真空計である。25''は拡散ポンプである。26は電圧計である。

【0030】27は可変トランスであって、触媒体13に供給する電力を制御するものである。30は原料ガスである。シリコン化合物のガスの例としてシランガス、他の物質のガスの例として水素ガスによる場合を示す。

【0031】図2の触媒CVD装置によりシリコン薄膜を生成する方法を説明するのに先立ち図3の説明をする。図3は本発明の触媒体の構成の実施例である。

【0032】図3において、13は触媒体であって、タングステン線である。13'は触媒体をコイル巻いて折り曲げて配置した時に触媒体の線の張る面の概形である。実施例の場合、7cm×7cmである。従って、触媒体13の張る単位面積当たりの供給電力は1100/(7×7)≒22.4W/cm<sup>2</sup>である。

【0033】図2の触媒CVD装置によりシリコン薄膜を生成する方法について説明する。図2において、触媒体13の温度は石英窓23'を透して電子式赤外線放射温度計23により測定される。同時に電流計25と電圧計26の測定値により触媒体(タングステン線)13の電気抵抗を求め、その電気抵抗の温度依存性からも計測

6

値を確認した。また、ガラス基板12の温度は熱電対22により計測すると同時にガラス基板12の裏面に塗布した示温性ペイント(温度によって色が変わる)の色を観察することによっても確認した。

【0034】シリコン膜の堆積条件の一例は次のようなものである。触媒体13の温度は1600°Cから1800°Cである。触媒体13を加熱するのに投入した電力は1100Wである。

【0035】シランガスの流量は1sccmである。水素ガスの流量は65sccmである。ガラス基板12の温度の熱電対による計測値は290°C、示温性ペイントを観測して得られた温度は約350°Cである。

【0036】シリコン薄膜の堆積時のガス圧は0.05 Torrである。上記の条件により、堆積時間3分以内で膜厚が約0.1μmの多結晶性シリコン薄膜を得ることができる。

【0037】本実施例によれば、触媒体13の電力供給量が高く、触媒体13の温度は1600°C~1800°C程度の高温である。そのため、触媒体13により分解されて生成されたシリコンは高温でガラス基板12に輸送される。また、水素ガスの量が多く、それは触媒体13の隙間を抜けてガラス基板12の表面に到達するのでその温度は比較的に低い。

【0038】本発明のように反応室の圧力が、0.05 Torr程度の低い時は、触媒体に接触して分解された種は高いエネルギーを持って基板表面に到達するが、触媒体13に接触しない種(接触しないで生成されたSi、分解されないシランガス、水素ガス等)は低温のままであって、いわば熱的非平衡が生じている。例えば、1700°Cの温度の触媒体に接して作られた種は、その温度で一般の熱がCVD堆積する際に基板表面で持つ種のエネルギーに近いエネルギーを持って触媒体から基板に飛来する。つまり、基板自体は低い温度であって、飛来する種の一部は大変な高温になっていて、基板表面があたかも高温であるかのように振る舞うのであるが、他の多くの冷たい種が基板全体の温度上昇を抑えるものであると考えられる。このようにして、従来の方法では基板温度を高温にしないと実現できなかった高移動度の多結晶シリコンが低い基板温度で生成されることが考えられる。

【0039】本発明によれば、ガラス基板12の温度が300°C程度の低温でも膜厚が0.1μm程度の高移動度の多結晶シリコン薄膜が得られるが、400°C、500°C程度までガラス基板12の温度を上げれば、さらに多結晶の粒径が大きくなり、より高い移動度のシリコン薄膜を生成することができる。

【0040】上記実施例では、シリコン化合物のガスとしてシラン(SiH<sub>4</sub>)について説明したが、本発明はジシラン(Si<sub>2</sub>H<sub>6</sub>)、トリシラン(Si<sub>3</sub>H<sub>8</sub>)等のシラン系ガス全般に適用できるものである。また、S

$\text{SiF}_4$ ,  $\text{SiH}_2\text{F}_2$  等のフッ化シリコン系のガスに対しても適用できるものである。

【0041】また、シリコン薄膜に微量のGe, C等の4族元素を混入しても良い。図4は本発明の触媒CVD法により生成したシリコン薄膜の薄膜トランジスタの例である。

【0042】図4において、35はゲート電極であって、結晶シリコンである。36はシリコン酸化膜であって、ゲート電極35を酸化して生成したものであり、ゲート絶縁膜である。

【0043】37は多結晶性のシリコン薄膜であり、本発明の触媒CVD法によりシリコン酸化膜36の上に堆積して生成したものである。シリコン薄膜37の膜厚は約 $0.1\mu\text{m}$ である。

【0044】38はアルミニウム電極であって、ソース電極となるものである。39はアルミニウム電極であって、ドレイン電極となるものである。図4のシリコン薄膜トランジスタは、結晶シリコンのゲート電極35を酸化してシリコン酸化膜36を生成する。シリコン酸化膜の膜厚は約 $1200\text{\AA}$ である。次にシリコン酸化膜36上に本発明の触媒CVD法により多結晶性のシリコン薄膜37を形成する。そして、シリコン薄膜37をエッチングしてアルミニウム電極を蒸着し、エッチングしてソース38とドレイン39を得る。ゲートのチャネル長は $15\mu\text{m}$ である。チャネル幅は $600\mu\text{m}$ である。

【0045】なお、図4は、単結晶シリコンをゲート電極とする構成であるが、一般的にはガラス基板にゲート電極とする金属膜を設け、その表面にゲート絶縁膜を形成してその上に本発明の方法により多結晶シリコン薄膜を生成する。

【0046】図5は図4のシリコン薄膜トランジスタのソースドレイン間電流 $I_{DS}$ とソースゲート間電圧 $V_{GS}$ の関係を示すものである（ソースドレイン間電圧は5

Vである）。

【0047】図5の $I_{DS}$ と $V_{GS}$ の関係を基に、薄膜トランジスタの移動度を求めることができる。図5の場合のその値は約 $70\text{cm}^2$ である。このように、本発明の触媒CVD法を使用することにより高移動度のシリコン薄膜トランジスタを製造することが可能になる。

【0048】

【発明の効果】本発明によれば、基板温度が $500^\circ\text{C}$ 以下、 $300^\circ\text{C}$ 程度であっても、膜厚が $0.1\mu\text{m}$ 以下の薄い、高移動度の多結晶性のシリコン薄膜を生成することができる。そのため、液晶ディスプレイ、半導体集積回路装置等に使用する高移動度のシリコン薄膜トランジスタを低温処理で製造することができるようになる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の基本構成を示す図である。

【図2】本発明の触媒CVD装置の実施例を示す図である。

【図3】本発明の触媒体の構成の実施例を示す図である。

【図4】本発明の触媒CVD法により生成したシリコン薄膜の薄膜トランジスタの例を示す図である。

【図5】本発明のシリコン薄膜トランジスタの例の特性を示す図である。

【図6】従来の触媒CVD法によるシリコン薄膜の生成方法の説明図である。

【符号の説明】

1：反応室

2：基板

30 3：触媒体

4：原料ガス供給管

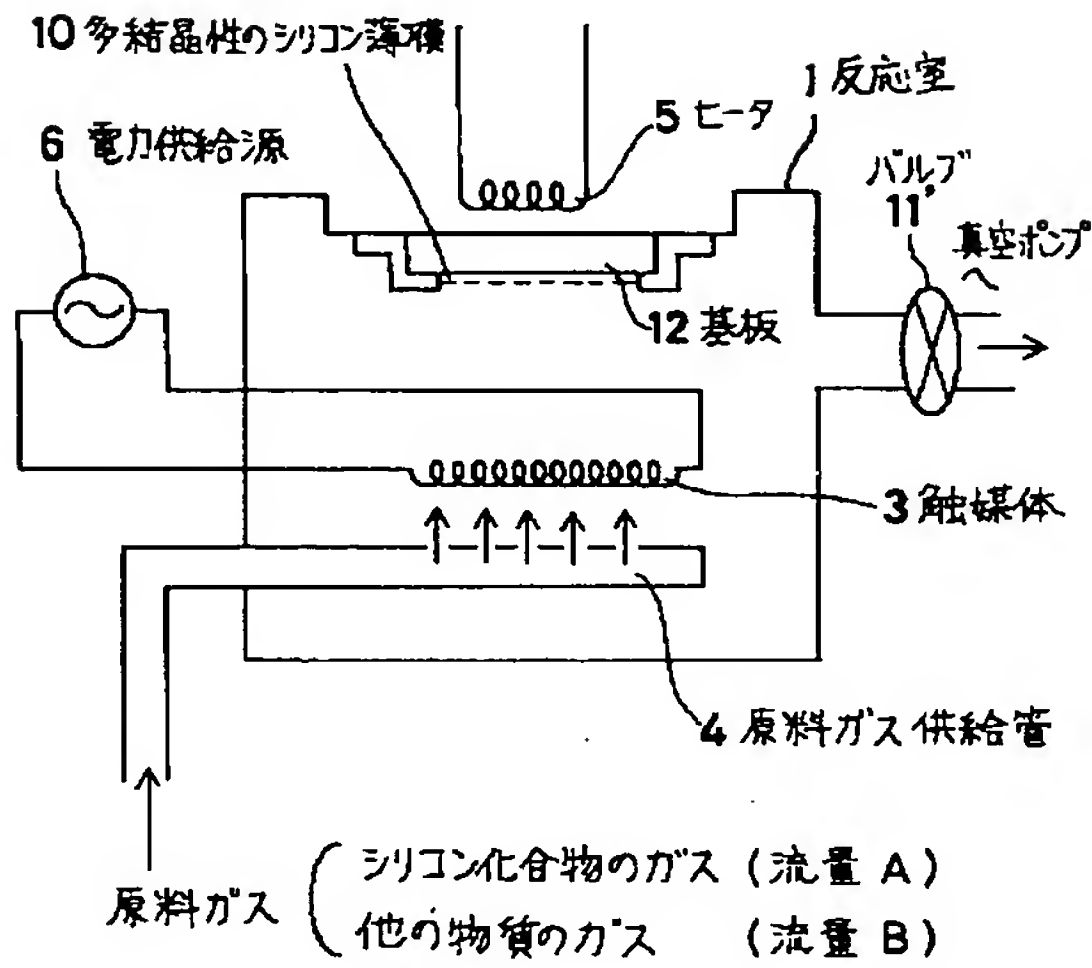
5：ヒータ

6：電力供給源



【図1】

本発明の基本構成

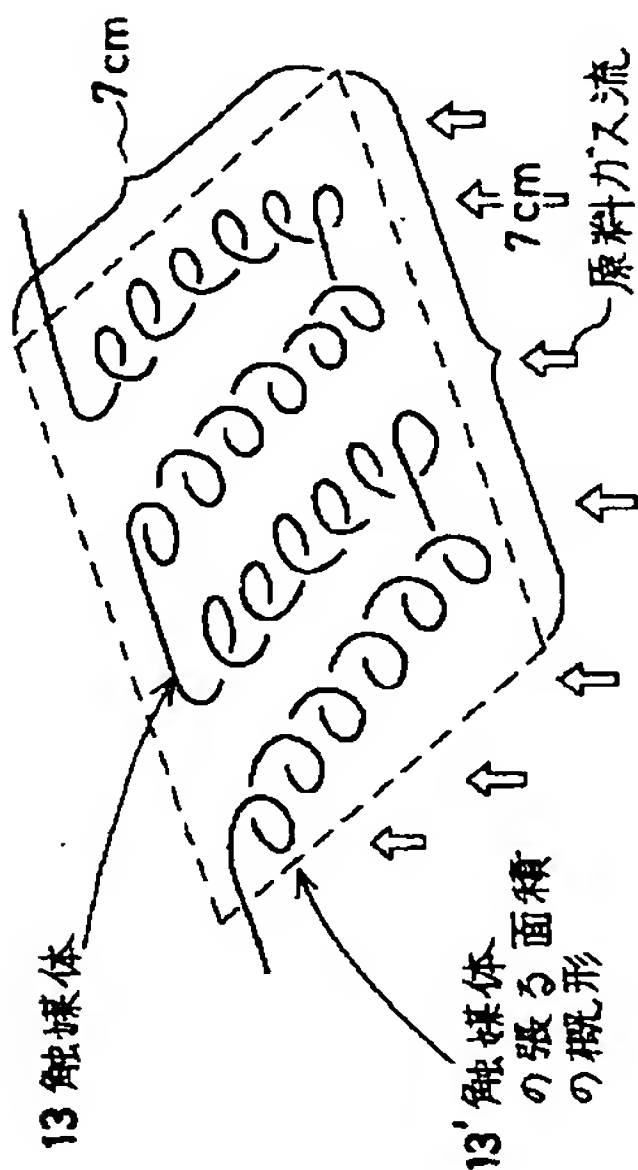


本発明の成膜の条件

|             |         |
|-------------|---------|
| 流量 B        | ----- 大 |
| 流量 A        | ----- 大 |
| 触媒体への供給電力 P | ----- 大 |
| 圧力          | ----- 小 |

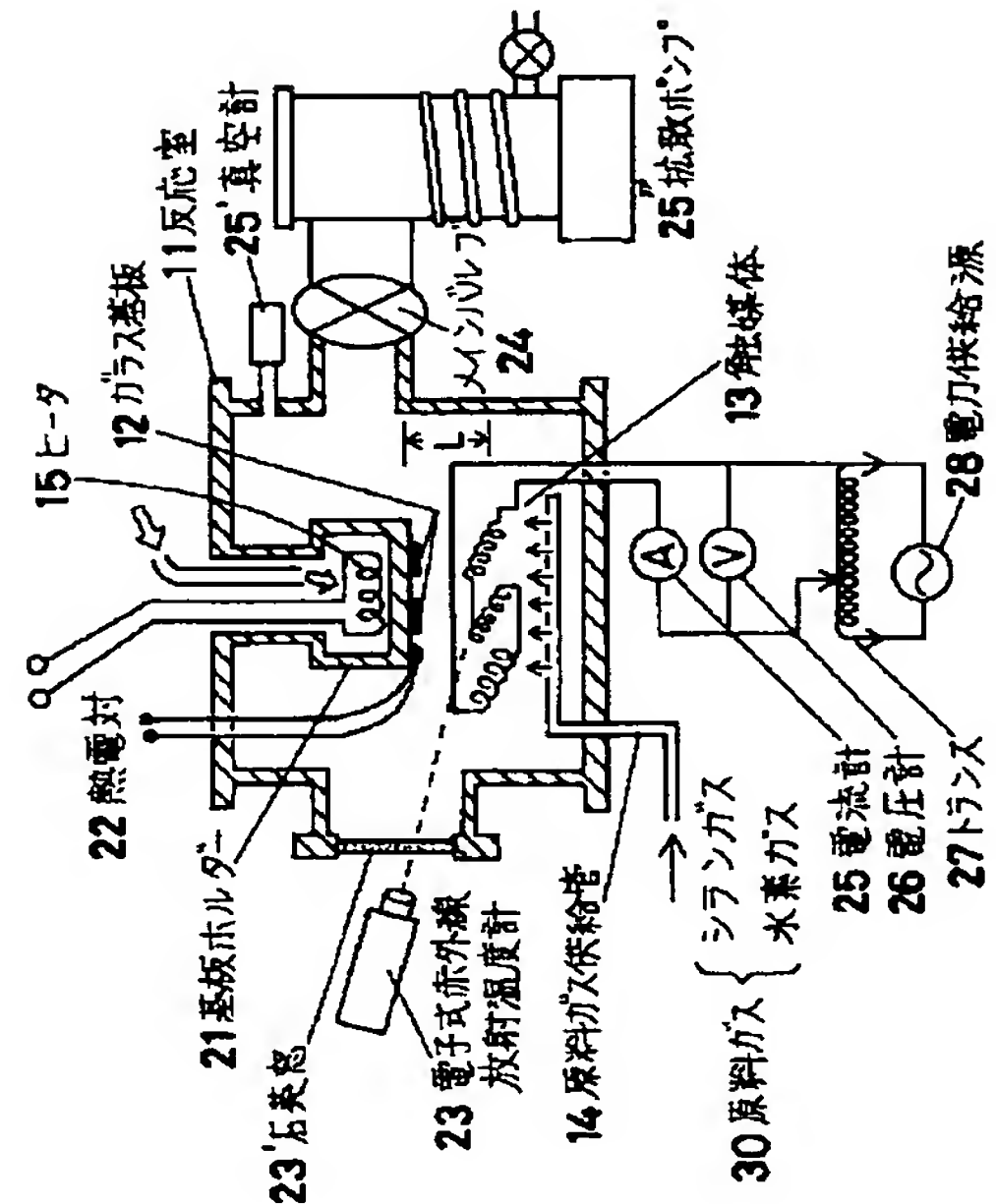
【図3】

本発明の触媒体の構成の実施例



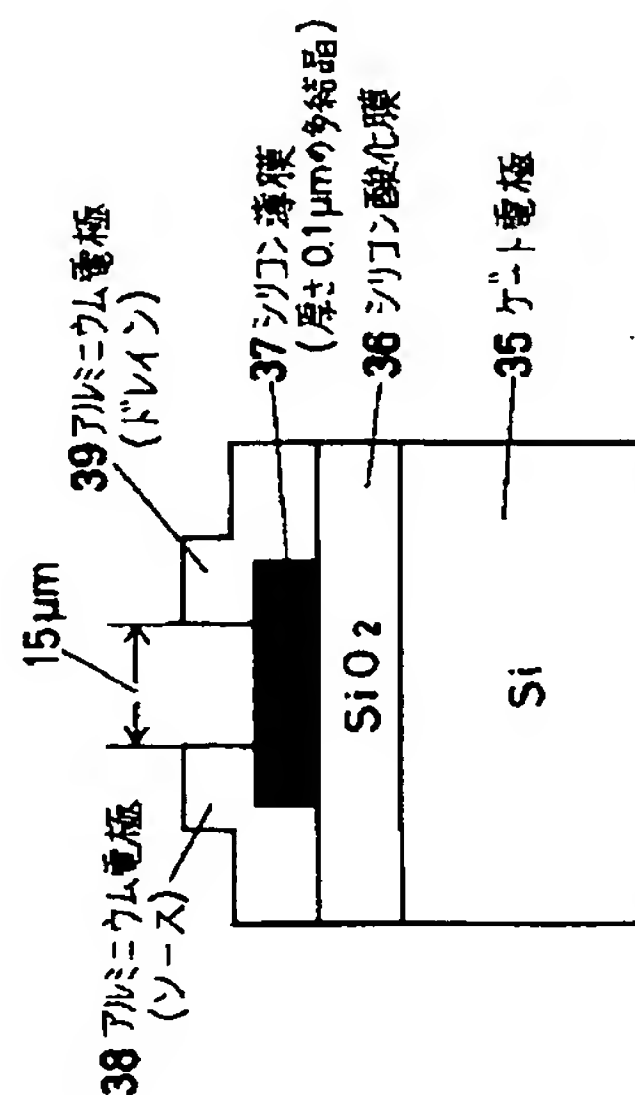
【図2】

本発明の触媒 CVD 装置の実施例



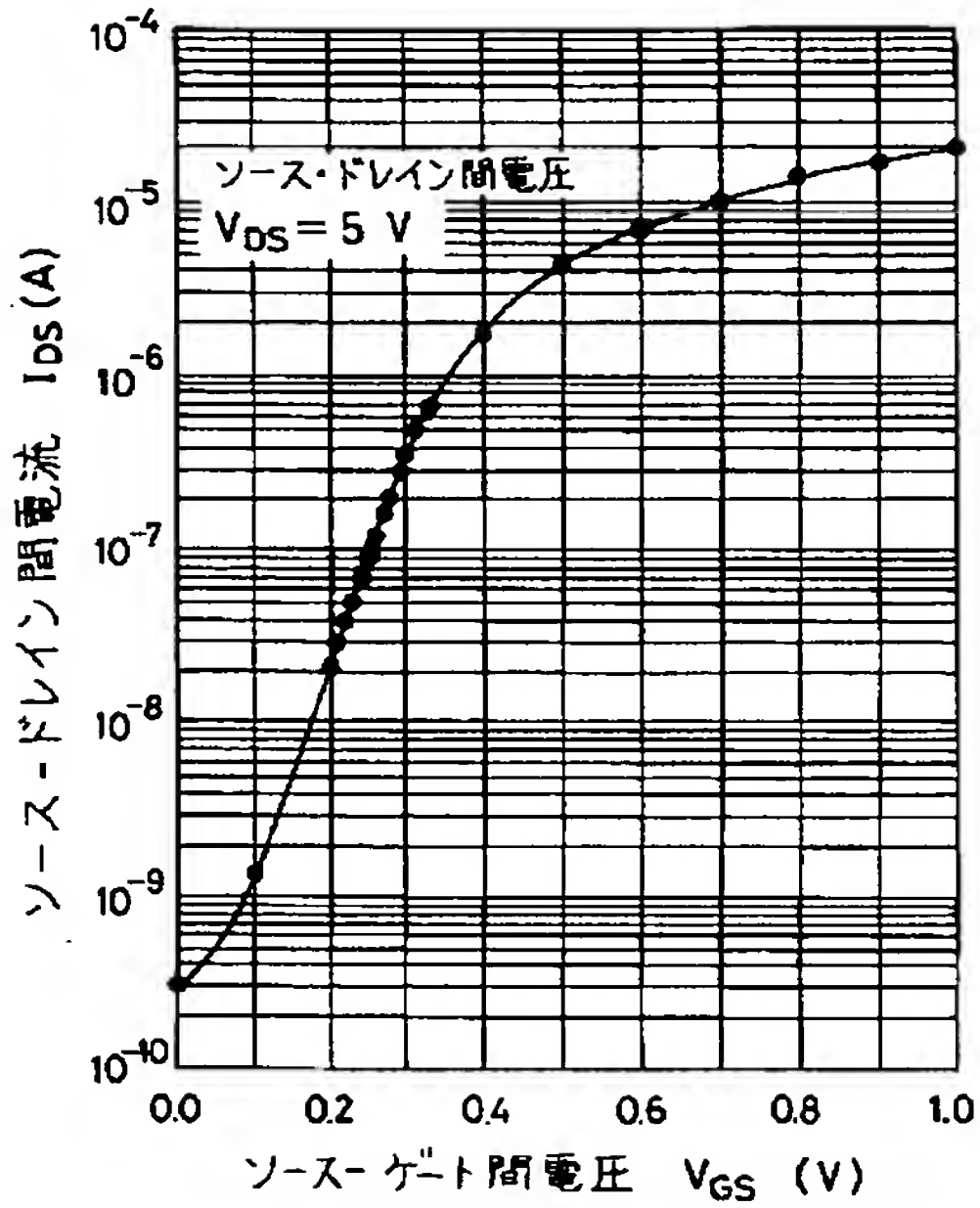
【図4】

本発明の触媒 CVD 法により生成したシリコン薄膜の薄膜トランジスタの例



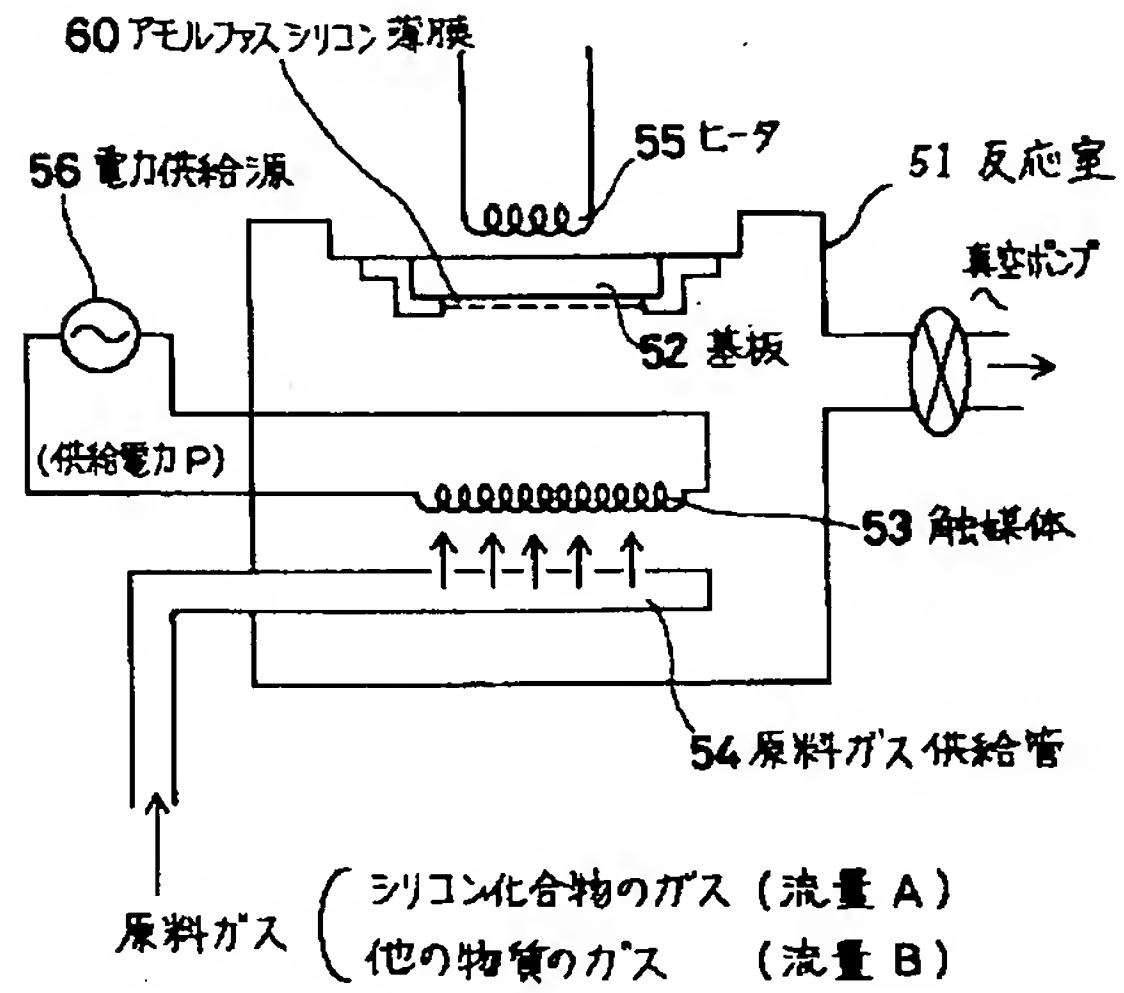
【図5】

本発明のシリコン薄膜トランジスタの例の特性



【図6】

従来の触媒 CVD 法によるシリコン薄膜の生成方法の説明図



従来の成膜条件

|             |     |         |
|-------------|-----|---------|
| 流量 B        | ÷ 1 | ----- 小 |
| 流量 A        |     |         |
| 触媒体への供給電力 P |     | ---- 小  |
| 圧力          |     | ----- 大 |